

RANCANG BANGUN DAN UJI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *PICOHYDRO* TIPE PROPELLER

Andareas Pangkung, La Ode Musa¹⁾, Wana Putra, Febryanto Kadang²⁾

Abstract : South Sulawesi is an area which has abundant hydro energy. Thus allowing the construction of hydro power plant. According to Perusahaan Listrik Negara (PLN) in 2012, South Sulawesi has 72.22% electrification ratio. It shows that there are 27.78% areas of South Sulawesi which have not supplied by electricity. To overcome this, a pico-scale independent power plant is required. Propeller type of picohydro power plant is one of the hydro power plants that can be used in unsupplied areas. This type of plant requires only 2-10 m head so that it has a wide coverage area usage. Beside that, it is very easy in maintenance and simple in construction. Seeing this, picohydro power plant's design and proper test is important to do as a solution for the people in an unsupplied area. Based on design and proper test, a hydro power plant with 180 mm diameter turbine tap and 55 mm diameter turbine hub, 4 turbine blades and 7 % as the highest system efficiency is constructed.

Keywords: hydro turbine, picohydro, propeller.

I. PENDAHULUAN

Sulawesi Selatan merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi energi air yang melimpah. Namun, banyak daerah di Sulawesi Selatan yang belum merasakan energi listrik. Menurut perusahaan listrik negara (PLN), rasioelektrifikasi Sulawesi Selatan pada tahun 2012 sebesar 72,22 % (Statistik PLN 2012). Tidak semua daerah di Sulawesi Selatan memiliki potensi energi air yang memiliki tinggi jatuh dan debit air yang memadai untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga air yang berskala besar. Maka dari itu mulailah dikembangkan teknologi pembangkit listrik tenaga air skala mikro, mini dan pico.

Pembangkit listrik tenaga *picohydro* merupakan jenis pembangkit yang paling banyak digunakan oleh warga/masyarakat pedesaan karena membutuhkan debit yang kecil dan tinggi jatuh air yang rendah untuk mengoperasikannya. Namun tidak hanya itu, konstruksinya tidak terlalu rumit merupakan salah satu alasan mengapa masyarakat lebih banyak menggunakan pembangkit listrik tersebut.

Jenis turbin yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga picohydro juga berbeda-beda, yaitu turbin crossflow, turbin turgo dan turbin propeller. Yang paling menarik perhatian saat ini adalah pembangkit listrik tenaga *picohydro* yang menggunakan turbin propeller. Mengapa demikian?, karena tipe ini memiliki keunikan tersendiri yang tidak dimiliki oleh tipe yang lain yaitu dapat dipasang langsung di aliran air sungai dengan menggunakan penopang kayu dan rakit. Sehingga tidak memerlukan lagi konstruksi bangunan sipil sehingga memudahkan masyarakat untuk memasang pembangkit listrik tenaga *picohydro* di daerah tempat tinggal mereka.

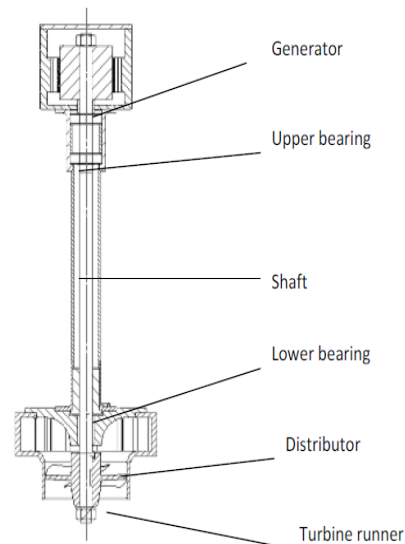
Pembangkit ini memiliki beberapa komponen penyusunnya, yaitu :

1. Generator

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

² Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

2. Upper bearing
3. Poros
4. Lower bearing
5. Distributor
6. Turbin



Gambar 1. Skematik bagian-bagian penyusun pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller

Perhitungan desain turbin dimulai dari debit yang tersedia :

$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{E^{\frac{3}{4}}} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk mencari nilai E, dapat digunakan persamaan :

$$E = H_n \times g \dots \dots \dots (1a)$$

Nilai head netto (H_n) dapat dicari dengan persamaan :

$$H_n = H \times \eta_h \dots \dots \dots (1b)$$

Menurut F. Schweiger and J. Gregory (1987), spesifik speed untuk turbin propeller dapat dicari dengan persamaan:

$$n_q = \frac{2.716}{H_n^{0.426}} \dots \dots \dots (1c)$$

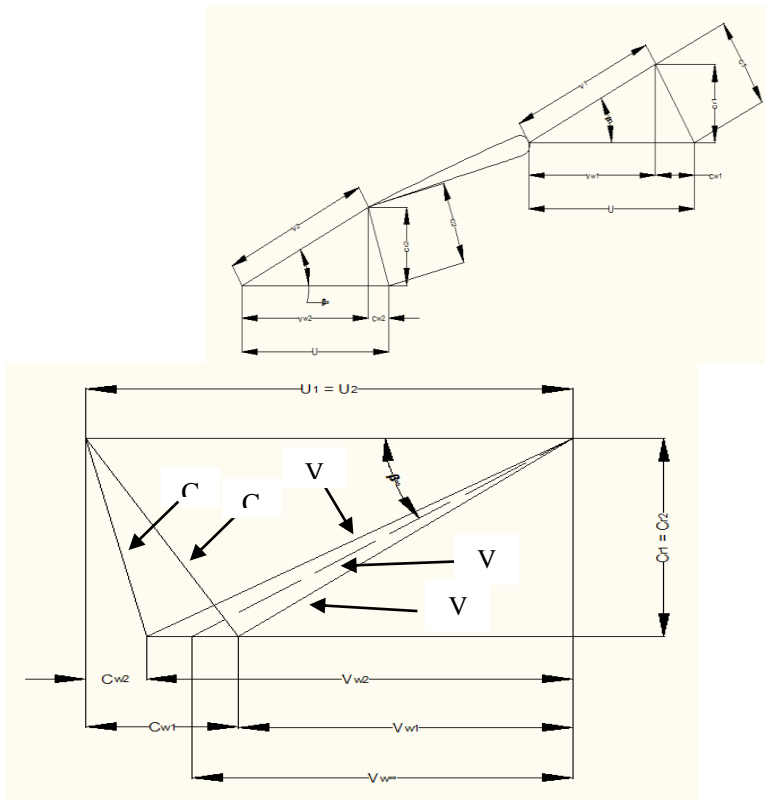
Dari persamaan 1, dilanjutkan menghitung diameter Tip turbin :

$$D_{tip} = 84,5 \times (0.79 + 1,602 \times n_q) \times \frac{\sqrt{H_n}}{60 \times n} \dots \dots \dots (2)$$

Dilanjutkan dengan menghitung diameter Hub :

$$D_{Hub} = \left(0.25 + \frac{0.0951}{n_q} \right) \times D_{Tip} \dots \dots \dots (3)$$

Segitiga kecepatan sangat penting untuk menentukan kecepatan inlet dan outlet pada turbin.



(Rama S.R Gorla dan Aijaz A. Khan, 2003)
Gambar 2. Segitiga kecepatan untuk turbin propeller

Dimana $U_1 = U_2$ dan $U = v_2$ (Simpsons and Williams, 2011). Untuk menghitung nilai-nilai di atas dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$U = \pi \times n \times d \dots \dots \dots (4)$$

$$c_{r1} = c_{r2} = \frac{Q}{A_{\infty}} \dots \dots \dots (5)$$

$$A_{\infty} = \frac{\pi \times (D_{Tip}^2 - D_{Hub}^2)}{4} \dots \dots \dots (6)$$

$$-v_{w2} = \sqrt{v_2^2 + c_{r2}^2} \dots \dots \dots (7)$$

$$c_{w2} = U + v_{w2} \dots \dots \dots (8)$$

$$c_{w1} = c_{w2} + \frac{g \cdot H_n}{U} \dots \dots \dots (9)$$

$$v_{w1} = c_{w1} - U \dots \dots \dots (10)$$

$$v_1 = \sqrt{v_{w1}^2 + c_{r1}^2} \dots \dots \dots (11)$$

$$v_{w\infty} = \frac{v_{w1} + v_{w2}}{2} \dots \dots \dots (12)$$

$$c_1 = \sqrt{c_{w1}^2 + c_{r1}^2} \dots \dots \dots (13)$$

$$c_2 = \sqrt{c_{w2}^2 + c_{r2}^2} \dots\dots\dots(14)$$

$$v_\infty = \sqrt{v_{w\infty}^2 + c_2^2} \dots\dots\dots(15)$$

$$\beta_\infty = \arccos \frac{v_{w\infty}}{v_\infty} \dots\dots\dots(16)$$

Sudut kemiringan ujung sudu pada bagian masuk :

$$\tan \beta_1 = \frac{c_{r1}}{U - c_{w1}} \dots\dots\dots(17)$$

Sudut kemiringan ujung sudu pada bagian keluar :

$$\tan \beta_2 = \frac{c_{r2}}{U - c_{w2}} \dots\dots\dots(18)$$

Hal penting dalam dasain pembangkit listrik tenaga picohydro adalah dimensi poros. Untuk menghitung dimensi poros dengan beban puntir dapat digunakan persamaan-persamaan berikut:

1. Daya rencana

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots(19)$$

2. Momen puntir

$$Mp = 97400 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(20)$$

Jika daya rencana (P_d) dalam daya kuda (HP) :

$$Mp = 71620 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(21)$$

Jika momen puntir (Mp) dalam lb.in dan daya rencana dalam HP :

$$Mp = 63000 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(22)$$

3. Tegangan geser

$$\tau = \frac{Mp}{\pi \cdot d^3 / 16} = \frac{5,1 \cdot Mp}{d^3} \dots\dots\dots(23)$$

4. Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_1 \cdot S_2} \dots\dots\dots(24)$$

5. Diameter poros

$$d \geq \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot Mp \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(25)$$

Apabila putaran yang dibutuhkan generator tidak mencukupi, maka putaran dapat dinaikkan dengan menggunakan dengan perbandingan pulli.

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{d_p}{D_p} \dots\dots\dots(26)$$

Perhitungan panjang sabuk yang akan digunakan maka dapat menggunakan peramaan berikut :

$$L = \left[\pi(r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 + r_2)^2}{x} \right] \dots\dots\dots(27)$$

Jarak sumbu poros yang berputar

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 \cdot (D_p - d_p)}}{8} \dots\dots\dots(28)$$

$$b = 2L - \pi \cdot (D_p + d_p)$$

Daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin propeller dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_M = \frac{2\pi nT}{60} \dots\dots\dots(29)$$

Generator merupakan alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energy listrik. Untuk menentukan berapa putaran yang dibutuhkan generator, dapat digunakan persamaan di bawah ini :

$$n = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots(30)$$

Daya listrik yang dihasilkan generator dihitung menggunakan persamaan :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(31)$$

System pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yang telah di desain dihitung efisiensinya menggunakan persamaan :

$$\eta_{sistem} = \frac{P_L}{P_H} \dots\dots\dots(32)$$

Pemilihan jenis generator harus sesuai dengan daya mekanik yang dihasilkan turbin. Jika tidak maka system tidak akan bekerja dengan baik.

Secara harfiah pipa pesat berfungsi sebagai penghasil tekanan hisap dan memanfaatkan semaksimal mungkin kecepatan air yang keluar dari sudu jalan sehingga tekanan dinamiknya dapat diubah menjadi tekanan statis (M.F Gubin, 1970). Pipa pesat ada 2 tipe yang biasa digunakan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yaitu tipe *cylyndrycal* dan *conical*.

Menghitung gaya-gaya yang terjadi pada blade, menggunakan persamaan :

Gaya Tangensial :

$$F_t = \frac{P_h}{2 \times \pi \times Z \times n \times r_{cp}} \dots\dots\dots(33)$$

$$r_{cp} = \sqrt{\frac{R_{tip}^2 + R_{hub}^2}{2}} \dots\dots\dots(34)$$

Gaya Axial :

$$F_a = g \times \rho \times H \times A_b \dots\dots\dots(35)$$

$$A_b = \frac{\pi \times \alpha \times (r_{tip}^2 - r_{hub}^2)}{360^\circ} \dots\dots\dots(36)$$

Resultan Gaya :

$$F_r = \sqrt{F_t^2 + F_a^2} \dots\dots\dots(37)$$

Gaya Sentrifugal :

$$F_s = \frac{G}{g} \times r_{cp} \times \omega^2 \dots\dots\dots(38)$$

$$\omega = 2 \times \pi \times n \dots\dots\dots(39)$$

Berdasarkan gaya-gaya yang terjadi maka kekuatan dari blade dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini :

Tegangan tarik pada sudu jalan :

$$\sigma_t = \frac{F_s}{A_b} \dots\dots\dots(40)$$

Tegangan geser pada sudu jalan :

$$\tau_s = \frac{F_t}{A_b} \dots\dots\dots(41)$$

Tegangan bending yang diizinkan:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_o} \dots\dots\dots(42)$$

Dimana :

$$Z_0 = \frac{l \times t^2}{z} \dots \dots \dots (43)$$

$$M = F_a \times \left(\frac{p}{2}\right) \dots \dots \dots (44)$$

Jika geometri sudu tersebut diumpamakan sebagai balok maka kita dapat memperkirakan dimensi panjang, lebar, dan tinggi.

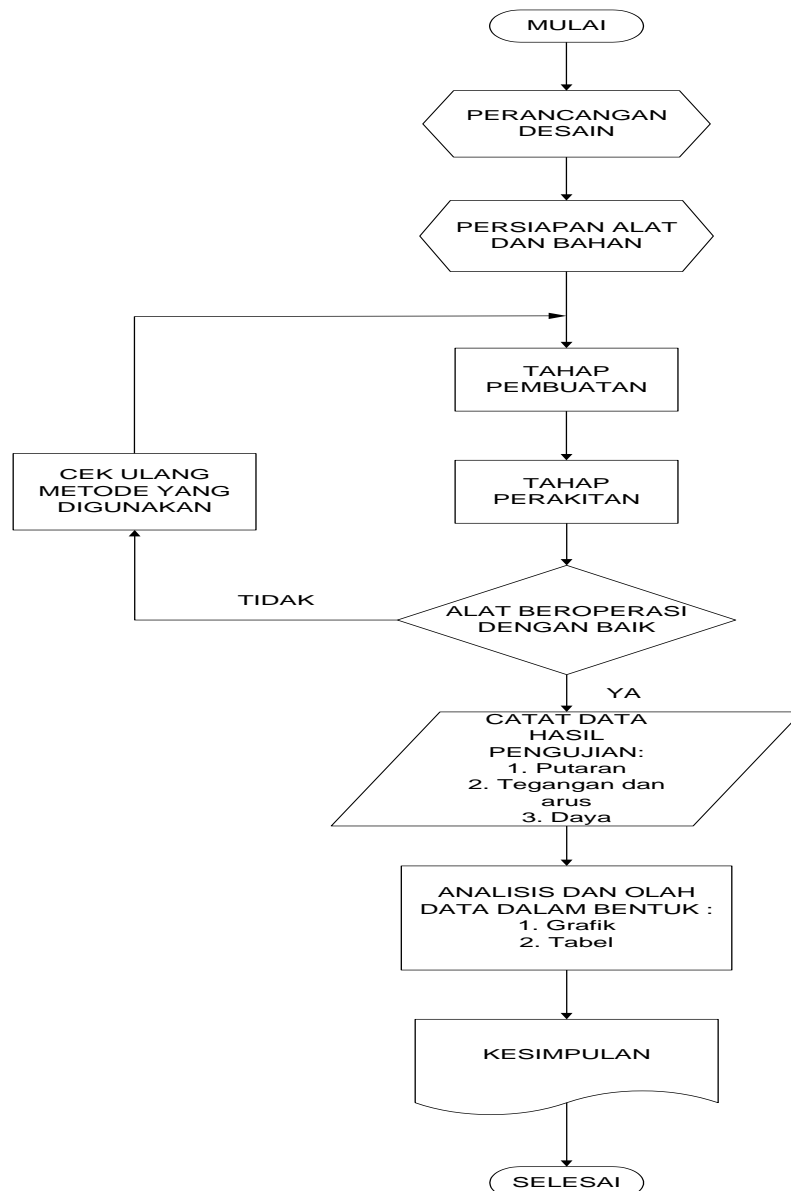
p = jari-jari tip

t = tebal blade

$$l = \frac{A_b}{p} \dots \dots \dots (45)$$

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan yaitu perancangan dan pengujian. Prosedur penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut sesuai dengan rangkaian percobaan dan diagram alir pada gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart* proses rancang bangun dan pengujian pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Desain

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan pada bab sebelumnya maka dihasilkan spesifikasi komponen-komponen berikut :

1) Blade

Diameter Tip	: 0.18 m
Diameter Hub	: 0,055 m
Sudu turbin	: 4
Jarak antar sudu	
l	: 0,13 m
t	: 0,15 m
Tebal sudu turbin	: 8 mm

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Bahan | : ST. 42 |
| 2) Poros | | |
| | Panjang | : 940 mm |
| | Diameter | : 25 mm |
| | Bahan | : ST. 42 |
| 3) Draft Tube | | |
| | Tipe | : Cylindrycal |
| | Diameter atas | : 6 inch |
| | Diameter bawah | : 6 inch |
| | Bahan | : Pipa PVC |
| 4) Saluran air | | |
| | Tipe | : Close channel |
| | Diameter | : 4 inch |
| | Bahan | : Pipa PVC |
| 5) Basin | | |
| | Diameter | : 0,5 m |
| | Tinggi | : 0,63 m |
| | Bahan | : Tempat penampungan air |
| 6) Lower Bearing | | |
| | Tipe | : Bush Bearing |
| | Diameter luar | : 0,6 inch |
| | Diameter dalam | : 25 mm |
| | Bahan | : Nilon |
| 7) Upper Bearing | | |
| | Tipe | : FYB |
| | Diameter | : 20 mm |
| 8) Pulli | | |
| | Diameter Pulli poros | : 8 inch |
| | Diameter Pulli generator | : 75 mm |
| | Bahan | : Aluminimum |
| 9) Sabuk | | |
| | Tipe | : V Belt (53 A) |
| | Diameter | : 1332,06 mm |

B. Pembahasan

1) Hasil Perancangan

Tahap Pembuatan

Dalam tahap ini, komponen-komponen pembangkit listrik tenaga picohydro tipe propeller yang akan dibuat adalah propeller, poros, rumah turbin, pipa selongsong,udukan generator, pulli dan sabuk yang akan digunakan, dan generator.

Adapun penjelasan dari proses pembuatan komponen-komponen pembangkit listrik tenaga air tipe propeller adalah sebagai berikut :

a) Pembuatan Propeller

Setelah menghitung dimensi dan menentukan material yang akan digunakan dari propeller maka proses selanjutnya adalah membuat propeller tersebut. Prosesnya yaitu besi pipa dipanaskan dengan menggunakan las gas

kemudian ditempa pada kedua ujungnya, poros pejal dimasukkan pada sisi atas dan bawah kemudian disambung dengan las. Setelah itu benda kerja dibubut. Pada sisi pertama dan dibuatkan lubang ulir sebagai tempat mengikatnya poros. Kemudian sisi satunya dibubut tirus dengan kemiringan 30° . Setelah jadi, maka besi plat diprofil mengikuti seperempat lingkaran. Kemudian dilengkungkan dan disambungkan.

b) Pembuatan Rumah Turbin

Setelah menentukan material yang akan digunakan maka tahap selanjutnya yaitu membuat rumah turbin. Untuk bagian atas rumah turbin dipilih material yang agak tebal agar mampu menahan tekanan air yang akan menghantam turbin sedangkan untuk bagian bawahnya dipakai plat yang agak tipis agar mudah dibentuk. Prosesnya yaitu besi plat yang telah ditentukan (plat yang tipis) di rol hingga membentuk lingkaran. Diameter dalamnya yaitu diameter luar turbin (diameter tip) ditambah 4 mm. Dimensi tersebut dipilih agar ada jarak antara turbin dan diameter dalam rumah turbin sehingga turbin dapat berputar. Sedangkan untuk bagian atasnya yaitu plat yang telah ditentukan (plat yang agak tebal) dipotong dan diprofil melingkar dengan menggunakan las gas. Plat di bor pada 4 titik kemudian di tap. Sudu pengarah dapat dibuat dari besi kotak yang dipotong dari arah diagonalnya kemudian diatur penempatannya dengan kemiringan 30° .

c) Pembuatan Selongsong Pipa dan dudukan generator

Setelah menentukan material dan dimensi selongsong pipa yang digunakan maka tahap selanjutnya adalah pembuatan selongsong pipa dan dudukan generator. Prosesnya yaitu besi pipa yang telah ditentukan pada bagian bawahnya disambung dengan plat lingkaran menggunakan las gas. Plat lingkaran ini di bor pada 4 titik sebagai tempat memasukkan baut yang akan digunakan sebagai pegangan antara rumah turbin dan selongsong pipa. Setelah disambung maka selongsong ini dibalancing dengan mesin bubut. Selanjutnya untuk lower bearing sebaiknya digunakan bush bearing yang terbuat dari bahan nilon agar bearing tidak rusak bila terendam air. Pada bagian tengah bearing dibubut sama dengan ukuran diameter poros. Selanjutnya untuk dudukan turbin dibuat dari plat yang sudah ditentukan lalu lubangi plat pada bagian yang telah ditentukan sebagai tempat keluarnya poros turbin dan pada lubang ini disambung dengan bagian atas pipa selongsong menggunakan las sehingga pipa selongsong dan dudukan generator menjadi satu bagian. Lalu pada bagian ujung yang lain dari plat diatasnya dibentuk dudukan generator terbuat dari 4 plat (sebaiknya menggunakan plat tebal karena akan menahan gaya tarik dan gaya berat generator itu sendiri) dalam posisi berdiri yang disambung menggunakan las. Setelah itu pada masing-masing plat di bor sebagai tempat masuknya baut yang akan digunakan sebagai pegangan antara dudukan generator dan generator. Untuk upper bearing sebaiknya digunakan bearing tempel agar pemasangannya lebih mudah. Diameter dari bearing dipilih sesuai diameter poros.

d) Pembuatan Poros

Setelah menghitung dimensi dan menentukan material yang digunakan maka poros dapat dibuat. Prosesnya yaitu besi poros yang telah ditentukan (sesuai dengan dimensi yang telah dihitung) kemudian pada bagian bawahnya dibuat ulir sesuai dengan ukuran ulir yang telah dibuat pada propeller.

Tahap Perakitan

Dalam tahap perakitan ini yang perlu diperhatikan adalah pemasangan komponen-komponen yang telah dibuat secara berurutan sesuai dengan gambar desain yang telah dibuat.

Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- Memasukkan lower bearing pada pipa selongsong bagian bawah.
- Memasang upper bearing pada ujung atas pipa selongsong yaitu pada lubang keluaran yang telah dibuat padaudukan generator dan dikencangkan dengan baut.
- Menghubungkan poros dan propeller lalu memasukkan poros pada lubang upper dan lower bearing.
- Menghubungkan rumah turbin dengan selongsong pipa lalu memasang baut pada lubang yang telah dibuat.
- Memasang generator pada dudukannya lalu memasang baut pada lubang yang telah dibuat.
- Memasang pulli pada poros turbin dan poros generator dengan perbandingan sesuai dengan perhitungan. Lalu menghubungkan pulli poros turbin dan pulli poros generator dengan sabuk.

2) Hasil Pengujian

a) Pengujian Putaran Turbin

Pada pengujian ini, poros turbin tidak dihubungkan dengan poros generator. Untuk mengalirkan air masuk ke dalam basin digunakan pipa PVC 4 inch. Sehingga debit air yang masuk kedalam pipa sebesar $7,93 \frac{l}{s}$. Putaran tertinggi yang diperoleh pada pengujian ini adalah 4111 rpm. Putaran yang didapatkan dari pengujian dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan.

Daya air :

$$P_h = Q \times g \times \rho \times \eta_h \times H$$

$$P_h = 0,00793 \frac{m^3}{s} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 0,7 \times 3,2 m$$

$$P_h = 174,257 \text{ Watt}$$

Putaran :

$$n = \frac{n_q \times E^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{Q}} = \frac{1,815 \times 21,974^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{0,00793}}$$

$$n = 206,83 s^{-1} = 12409,61 \text{ rpm}$$

Sehingga ,

$$\text{Selisih putaran} = 12409,61 - 4111 = 8298,61 \text{ rpm}$$

Jadi, untuk perbandingan antara putaran hasil perhitungan dan hasil pengujian didapatkan selisih 8298,61 rpm

b) Pengujian dengan menggunakan generator magnet permanen yang digulung ulang

Pada pengujian ini didapatkan tegangan tanpa beban tertinggi adalah 1200 Volt. Sedangkan pada saat dibebani 24 watt, tegangannya adalah 120 Volt dan arusnya adalah 0,1 Amper. Untuk perhitungan daya keluaran dari generator adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

$$P = 120 \times 0,1$$

$$P = 12 \text{ Watt}$$

Jadi, pada pengujian dengan generator magnet permanen yang digulung ulang didapatkan daya maksimum 12 Watt.

c) Pengujian dengan menggunakan generator magnet permanen yang tidak digulung ulang

Pada pengujian ini didapatkan tegangan tanpa beban tertinggi adalah 225 Volt. Sedangkan pada saat dibebani 60 watt, tegangannya adalah 40 Volt dan arusnya adalah 0,12 Amper. Untuk perhitungan daya keluaran dari generator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P &= V \times I \\P &= 40 \times 0,12 \\P &= 4,8 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Jadi, pada pengujian dengan generator magnet permanen yang tidak digulung ulang didapatkan daya maksimum 4,8 Watt.

Sehingga untuk kedua pengujian dengan menggunakan generator di atas didapatkan efisiensi sistem sebagai berikut :

1) Generator yang digulung ulang :

$$\begin{aligned}\eta_{sistem} &= \frac{P_L}{P_h} \\ \eta_{sistem} &= \frac{12}{174,257} \times 100\% = 7\%\end{aligned}$$

2) Generator yang tidak digulung ulang :

$$\begin{aligned}\eta_{sistem} &= \frac{P_L}{P_H} \\ \eta_{sistem} &= \frac{4,8}{174,257} \times 100\% = 3\%\end{aligned}$$

3) Analisis Kekuatan Blade

Kekuatan dari blade yang telah dirancang dapat sangat penting diketahui untuk melihat apakah material yang di gunakan pada sudu jalan mampu menahan beban atau tidak. Untuk itu, pada bagian analisis ini akan diperlihatkan berapa besar beban yang harus ditanggung sudu jalan dan adakah beban lebih yang ditanggung oleh sudu jalan.

Gaya Tangensial :

$$\begin{aligned}F_t &= \frac{P_h}{2 \times \pi \times Z \times n \times r_{cp}} \\ r_{cp} &= \sqrt{\frac{R_{tip}^2 + R_{hub}^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,09^2 + 0,028^2}{2}} = 0,7 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$F_t = \frac{174,257}{2 \times \pi \times 4 \times 68,52 \times 0,7} = 0,15 \text{ N}$$

Gaya Axial :

$$F_a = g \times \rho \times H_n \times A_b$$

Dimana,

$$A_b = \frac{\pi \times 80 \times (0,09^2 - 0,0275^2)}{360^\circ} = 0,005 \text{ m}^2$$

Sehingga,

$$F_a = 9,81 \times 1000 \times 2,24 \times 0,005 = 112,6 \text{ N}$$

Resultan Gaya :

$$\begin{aligned}F_r &= \sqrt{F_t^2 + F_a^2} \\ F_r &= \sqrt{0,05^2 + 112,6^2} = 112,6 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya Sentrifugal :

$$F_s = \frac{G}{g} \times r_{cp} \times \omega^2$$

Dimana :

$$\omega = 2 \times \pi \times 68.52 = 430,29 s^{-1}$$

Sehingga,

$$F_s = \frac{6 \cdot 9,81}{9,81} \times 0,7 \times 185144,89 s^{-2} = 777608,56 \text{ N}$$

Dari gaya-gaya yang terjadi pada blade, dapat dihitung tingkat kekuatan material dari blade. Untuk menghitung kekuatan dari blade dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

Tegangan Tarik pada sudu jalan :

$$\sigma_t = \frac{F_s}{A_b} = \frac{777608,56}{0,005}$$

$$\sigma_t = 155521711 \text{ Pa} = 156 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t(ST 42)} = 420 \text{ MPa} > 156 \text{ MPa} \text{ (ST 42 aman digunakan)}$$

Tegangan geser pada sudu jalan :

$$\tau_s = \frac{F_t}{A_b} = \frac{0,15}{0,005}$$

$$\tau_s = 30 \text{ Pa} = 0.00003 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s(ST 42)} = 80 \text{ MPa} > 0.00003 \text{ MPa} \text{ (ST 42 aman)}$$

Tegangan bending yang diizinkan:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_0}$$

Dimana :

$$Z_0 = \frac{I \times t^2}{Z} = \frac{\frac{A_b}{0,09} \times 0,008^2}{4} = \frac{\frac{0,0009}{0,09} \times 0,008^2}{4}$$

$$Z_0 = 0,0000009 m^3$$

$$M = F_a \times \left(\frac{p}{2}\right) = 112,6 \times \left(\frac{0,09}{2}\right)$$

$$M = 5,07 \text{ Nm}$$

Sehingga,

$$\sigma_b = \frac{5,07}{0,0000009}$$

$$\sigma_b = 5633333,33 \text{ Pa} = 5,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b(ST 42)} = 360 > 5,63 \text{ (ST 42 aman digunakan)}$$

Dari analisa di atas, didapatkan bahwa untuk material ST 42 aman digunakan dalam perancangan ini.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan pembangkit listrik tenaga picohydro yang telah dilakukan membutuhkan data awal berupa debit air yang tersedia di lokasi pengujian. Dari pengukuran awal yang dilakukan, diperoleh data debit air yang tersedia yaitu $180 \frac{l}{s}$. Sehingga dari data debit tersebut kita dapat merancang dimensi-dimensi

dari pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yaitu diameter tip 0,18 m dan diameter hub 0.055 m.

2. Pengujian pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yang telah dilakukan membutuhkan data awal berupa head yaitu 3,2 m dan jarak sumber air ke tempat pengujian yaitu 20 m. Sehingga dari data-data tersebut dapat dirancang bentuk alternatif pengujiannya.
3. Pada perancangan dan pengujian ini, pembangkit hanya menghasilkan daya 12 Watt untuk generator gulung ulang dan 4,8 Watt untuk generator yang tidak digulung ulang. Hal ini memperlihatkan bahwa daya keluaran generator jauh dari target yang diharapkan.

B. SARAN

1. Untuk perancangan dan pengujian selanjutnya, jika daya keluaran yang dihasilkan generator kecil maka sebaiknya daya tersebut digunakan untuk mengisi aki. Lalu menggunakan inverter DC-AC untuk dialirkan ke beban.
2. Pada perancangan dan pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan pada musim penghujan agar debit air yang tersedia tidak berkurang sehingga tidak menghambat dilakukannya pengujian.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar. Artono. Dr, Kuwahara. Dr. 1972. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Chan, Yefri. <http://yefrichan.wordpress.com/2010/07/23/cara-menentukan-ukuran-baut>. Diunduh tanggal 23 Oktober 2014.
- Bohl, W. (1991). *Strömungsmaschinen 2: Berechnung und kalkulation*. Vogel Business Media.
- Dixon, S.L., Hall, C.A. (2010). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery Sixth Edition*. USA : Elsevier Inc.
- Gubin, M.F. 1970. *Draft Tube of Hydro-Electric Stations*. Moscow: Energiya Press.
- Hamrock, B.J., Jacobson, B., and Schmid, S.R. (1999). *Fundamentals of Machine Elements*. Singapore : McGraw-Hill
- Harsarapama, Anindio Prabu. *Turbin Mikrohidro Open Flume dengan Hub to Tip rasio 0,4 untuk daerah terpencil*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Ho-Yan, Bryan Patrick. 2012. *Design of a Low Head Pico Hydro Turbine for Rural Electrification in Cameroon*. University of Guelph. Canada.
- Jack Stolk, Ir., C. Kros, Ir. 1993. *Elemen Mesin (Elemen Konstruksi dari Bangunan Mesin)*. Jakarta : Erlangga.
- Khurmi, R.S., Gupta, J.K. (2005). *First Multicolour Edition: A Text Book of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.

67 Andareas Pangkung, La Ode Musa, Wana Putra, Febryanto Kadang, Rancang Bangun dan Uji Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Tipe Propeller

Mattila, Jaakko. 2007. *Design of the runner of a Kaplan turbine for small hydroelectric power plants*. Tampere University of Applied Science. Mechanical Engineering Department. Finlandia.

Mulyadi, Musradi. 2010. *Mekanika Teknik 2: Elemen Mesin*. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makassar.

PT PLN. (2012). *Statistik PLN 2012*. Jakarta : PT PLN

Round, G. F. (2004). *Incompressible flow turbomachines: Design, selection, applications, and theory*. Amsterdam ; Boston: Elsevier.

Simpson, R., & Williams, A. (2011). *Design of propeller turbines for pico hydro*. University of Nottingham.

Safril. 2009. *Perencanaan Runner dan Poros turbin Cross Flow Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Malang.

Sasongko, Firman. <http://konversi.wordpress.com/2010/05/01/sekilas-mengenai-pembangkit-listrik-tenaga-air-plta/>. Diunduh tanggal 13 Februari 2014.

Schweigher, F., Gregory, J. 1987. *Development in the design of Kaplan turbines, Water Power, & Dam construction*.

Singh, P., Nestmann, F. 2009. Experimental Optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application. *Experimental thermal and fluid science*, 33(6), 991-1002.

Smits, Mattijs. (2008). *Technography of pico-hydropower in the Lao PDR*. Lao Institute for Renewable Energy. Vientiane.

S.R. Gorla, Rama., A. Khan, Aijaz. 2003. *Turbomachinery Design and Theory*. New York : Marcell Dekker. Inc

Sutikno, D. 1997. *Turbin Air Banki*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Wibawa, U. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Wright, T. (1999). *Fluid machinery : Performance, analysis, and design*. Boca Raton, Fla. ; London: CRC Press.